

雑種ソルガムの採種における花粉供給のタイミングについて

最上邦章・土居嘉明・古土井悠・土屋隆生

要 約

最上邦章・土居嘉明・古土井悠・土屋隆生 (1980) : 雑種ソルガムの採種における花粉供給のタイミングについて 広島農試報告42: 35~54

ヒロミドリ の両親である390Aおよび Regs. Hegari の単一穂における開花の推移、授・受精能力の推移を調査し、その結果を類型化して集団に適用し、最大の採種量が期待できる花粉の供給タイミングを推定した。

個体間の交配では種子親穂が花粉親穂よりも1~6日早く開花始に達した場合に、高い採種量が期待された。集団間の交配では種子親集団の開花期が花粉親集団の開花期よりも2~3日早い場合に最も高い採種量が期待され、1~6日早い場合がこれに次いだ。また、個体間交配においても、集団間交配においても、花粉の供給日数が増加すると高い採種量が確保される期間が拡大し、安定した種子生産が可能であると考えられた。

I 緒 言

ソルガムでヘテロシスが発現することは1920年代には既に認められていた⁵⁾。しかし、当時は、雑種 (F₁) 種子を大量かつ容易に生産する方法がなかったため、F₁ を栽培品種として利用するには至らなかった。

1954年、STEPHENS and HOLLAND⁷⁾は D. D. Yellow Sooner Milo と Texas Blackhull Kafir との雑種の後代で、細胞質遺伝をする雄性不稔系統 (細胞質雄性不稔系統, Cytoplasmic malesterile line) を発見し、これを利用した F₁ 種子の大量採種法を提案した。

雄性不稔系統は、雌ずいとは完全な機能をもつが、花粉の形成が中断されるために授精力を持つ花粉を欠く一種の遺伝的な生殖不能系統である。このため雄性不稔系統は機能的には雌性の単性花として働き、他の品種の花粉が飛来しない条件下で雄性不稔系統と花粉を有する品種、系統とを混植し、自由に交配させると、雄性不稔系統上には両者の F₁ 種子のみが稔実する^{1,3,5,7)}。

STEPHENS and HOLLAND⁷⁾ が発見した雄性不稔系統は D. D. Yellow Sooner Milo に由来する不稔細胞質 (S cytoplasm, 正常は N cytoplasm) と Texas Blackhull Kafir に由来する雄性不稔遺伝子 msc_1 (対立遺伝子 MSC_1 は S cytoplasm 下で稔性を回復させる) との交互作用によって発現する。S cytoplasm と核内遺伝子型 $msc_1 msc_1$ が共存する (これを $Smsc_1 msc_1$ と

表記する) 場合にのみ完全な雌性不稔となる。 $Smsc_1 msc_1$ や $Smsc_1 MSC_1$ は MSC_1 遺伝子の働きによって、完全にまたは部分的に稔性を回復する。

N cytoplasm をもつ個体、系統は核内遺伝子型に関係なく可稔である。この内、N $msc_1 msc_1$ は S $msc_1 msc_1$ に交配するとその F₁ はすべて稔性を回復するので、回復系統 (Restorer) とよばれ、N $msc_1 msc_1$ は S $msc_1 msc_1$ との F₁ がすべて完全不稔となるので、維持系統 (Maintenance) とよばれている。

雑種ソルガムの種子を継続して生産するためには、①雄性不稔系統×維持系統、による雄性不稔系統および維持系統の増殖と維持、②雄性不稔系統×花粉供給品種 (多くの場合回復系統) による F₁ 種子の生産と花粉供給品種の増殖と維持、の二つのステップを必要とする。この際、特に②では、雄性不稔系統を、“種子をとる親”の意から種子親 (Seed Parent or Female Parent) とよび、花粉供給品種を、“花粉を供給する親”の意から花粉親 (Pollen Parent or Male Parent) とよんでいる³⁾。

ところで、F₁ 種子を効率的に生産するためには種子親と花粉親との授、受精が十分かつ効率的に行なわれることが第一の要件であろう。しかし、このことについては、従来から漠然と、両親の開花期が一致することが、その要件とされてきた^{1,5)}。しかし、実際に雑種ソルガムの育種や採種の現場では、両親の開花期に若干のズレ

をもつ優良な組合せが出現したり、気象的な変動が原因となり、両親の開花期間に差を生ずることが稀ではない。この種の組合せでは、両親間の開花期のズレの程度に応じて F_1 種子の採種効率に変化するが、この点について具体的に検討を行なった事例は今日までのところ、みられない。

本稿では雑種ソルガムの採種に当り、最大の採種量を期待するためには、両親間の開花のタイミングは如何にあればよいか、換言すれば、種子親の開花状態がどの様な時期に何をメルクマールとして、花粉が供給されれば、目標とする採種量を確保できるか、について、開花および授、受精能力の推移から検討を加えることとした。

Table 1 Terms, definitions and evaluating methods adopted in present paper.

Term (Abbreviation)	Definition	Evaluating method
Flowering Ratio (f_i)	Proportion of flowering completion in a panicle of both parents on i th day	Presented in 10 times ratio of flowered portion to total panicle length
Receptive Ratio (r_i)	Proportion of fertilizable flowers in a panicle of seed parent on i th day	Presented in 10 times ratio of seed number per 1 cm long of panicle length by 1 day pollination to that of max.
Losing Ratio (l_i)	Proportion of flowers lost fertility in a panicle of seed parent on i th day	Estimated by $l_i = f_i - r_i$ and presented in 10 times ratio
Pollinating Ratio (p_i)	Proportion of flowers supplying active pollens in a panicle of pollen parent on i th day	Estimated by $p_i = f_i - f_{i-1}$ and presented in 10 times ratio
Days from beginning of flowering (i)	Days from beginning of flowering in a panicle when the beginning day fixed 1st.	
Number of plants reached first flowering on i th day (n_i)	Number of plants reached first flowering on i th day	

Ⅱ 個体間交配における花粉供給のタイミング

1. 材料および方法

1) 供試材料

①開花推移の調査

細胞質雄性不稔系統 390 A および兼用型ソルガム品種⁴⁾ Regs. Hegari を供試した。1978年5月16日、当場ソルガム試験圃場に、畦幅60cm、株間20cmに、4~5粒を点播し、発芽後間引いて1本立とした。各60個体を育成し、中央部の、生育中庸な15個体を調査に用いた。供

試材料の肥培管理は当場のソルガム栽培基準に従った。

②受精能力の推移調査

受精能力の保持期間は交配法によって調査した。

種子親には1978年5月9, 16, 22日に播種した390 A 86個体を、花粉親には1978年5月16, 22, 30日に播種した Regs. Hegari 86個体を供試した。播種法および肥培管理は①と同様とした。

③授精能力の推移調査

授精能力の保持期間は交配法によって調査した。

種子親には1978年6月上旬、場外隔離ほ場に播種した細胞質雄性不稔系統 605 A のうち、実験条件に適合した44個体を、花粉親には同一ほ場に混植した維持系統 605

Bのうち、実験条件に適合した44個体を用いた。畦幅50 cm, 株間20cmに1~2粒を点播し、間引きは行なわなかったが、供試個体はいずれも1株1本立であった。

2) 調査方法

①開花推移の調査

7月23日から8月3日まで、毎朝(8時30分~9時30分)、開花した穂長の全穂長に対する十分比を、観察によって調査した。分けつは調査から除いた。

②受精能力の推移調査

開花始に達した390 A穂の開花部を切除し、クラフト袋(長形1号)をかけ、一定日数経過後、びん掛法によって Regs. Hegari 1穂で390 A 1穂を、1日間授精した。交配は7月27日から8月21日まで、開花始後3日目から20日目まで、18次にわたって行なった。1交配次当り、各3~8穂を用いた。

交配穂は登熟後、穂別に収穫し、十分乾燥させた後、穂長、稔実粒重、千粒重、稔実粒数を測定した。

③授精能力の推移調査

交配は8月16日、5時30分から14時まで、22次にわたって行なった。

8月11日に605 A穂にクラフト袋をかけ、8月16日に穂の基部まで開花したものを選んで種子親とした。花粉親には8月15日に袋をかけ、8月16日に穂長の20~25%が当日開花した605 B穂を用いた。交配は手掛法¹¹⁾によって行なった。

交配穂は②と同様に処理、調査した。

3) 調査結果の表示法

調査結果は次の用語によって表示した。定義等は Table 1 および下記に示す通りである。

①開花指数 (Flowering Ratio, f_i)

開花穂長の全穂長に対する十分比。

②受精可能花指数 (Receptive Ratio, ri)

受精能力を保持している穎花の十分比。

交配実験②で得られた390 A穂の、穂長1 cm当り稔実粒数と、開花始後5日目交配区における1 cm当り稔実粒数との十分比。

③受精不能花指数 (Losing Ratio, li)

受精能力を失った穎花の割合(十分比)。

$li = fi - ri$, によって推定。

④授精可能花指数 (Pollinating Ratio, pi)

授精能力を有する穂長の全穂長に対する十分比。

$pi = fi - f_{i-1}$ によって推定。根拠は後述する。

⑤経過日数 (Days from beginning of flowering, i)

開花始日を1日目とする開花始後日数。

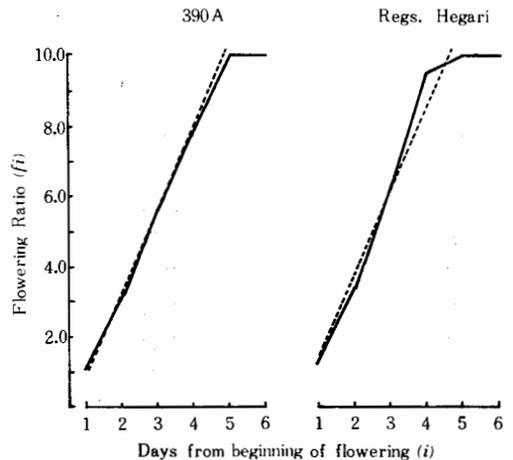


Fig. 1 Change of flowering ratio of a panicle of 390A and Regs. Hegari.

Note; Broken lines indicated the regressions between i and f_i .

$f_i = 2.31i - 1.23$ for 390A and $f_i = 2.33i - 0.89$ for Regs. Hegari were obtained where $r = 0.996^{**}$ and 0.983^{**} , respectively.

3. 結果

1) 開花指数の推移

390 Aは7月25日に開花始、28日に開花期に達した。Regs. Hegari は23日に開花始、26日に開花期に達した。

開花始後日数の経過に伴う開花指数の推移を Fig. 1 に、供試15個体の平均値で示した。

開花始日には穂頂部が若干数開花したものから、開花指数1.5程度のものでの変異がみられたが、3日目にはこの変異は解消され、5日目には穂基部まで開花した。6、7日目にも若干数の新しい開花を認めたが、この部分は数値としては結果に反映しなかった。8日目には新しい開花は認めなかった。

開花指数は、390 A, Regs. Hegari とも、経過日数の増加に伴い直線的に増加した。経過日数 (i) と開花指数 (f_i) との間には、390 Aでは、一次回帰式 $f_i = 2.31i - 1.23$ および相関係数、 $r = 0.966^{**}$ が、Regs. Hegari では、同じく $f_i = 2.33i - 0.89$, $r = 0.983^{**}$ が認められた。

2) 受精可能花指数の推移

開花始後日数の異なる390 Aに Regs. Hegari を交配した穂の、1穂当り稔実粒数、穂長、穂長1 cm当り稔実粒数等を Table 2 に示した。

Table 2 Change of seed setting on malesterile line of 390A fertilized on different days after the beginning of flowering

Days	No. of panicle	No. of seed per panicle	Panicle length	No. of seeds per 1 cm long of a panicle	10 times ratio	
					Observed	Regression
			cm	grains/cm		
3	2	967	21.7	44.6	5.1	—
4	5	1188	17.2	69.1	7.8	—
5	5	1666	18.9	88.1	10.0	10.0
6	6	1635	21.7	75.3	8.5	9.0
7	6	1580	21.3	74.2	8.4	8.5
8	7	1474	20.5	71.9	8.2	8.0
9	8	1350	21.9	61.6	7.0	7.5
10	7	1475	22.3	66.1	7.5	7.0
11	3	1207	21.0	57.5	6.5	6.5
12	3	822	19.5	42.2	4.8	5.0
13	5	538	19.6	27.4	3.1	3.9
14	8	452	21.2	21.3	2.4	2.9
15	4	284	16.3	17.4	2.0	1.9
16	8	181	18.8	9.6	1.1	0.8
17	5	79	20.8	3.8	0.4	—
18	4	31	20.3	1.5	0.2	—
19	4	11	19.4	0.6	0.07	—
20	2	8	25.4	0.03	0.003	—

Note; Ten times ratio indicated the ratio of number of seeds per 1 cm long of a panicle by i th day's fertilization to that by 5th day.

1穂当り稔実粒数は5日目に交配した穂がもっとも多く、これより早く、あるいは遅く交配した穂では減少した。5日目交配穂では1穂当り1666粒(52.0g)であった。

穂長は袋がけ時に既開花部を切除したため変異が大きく16~25cmであったが、19~21cmのものが多かった。

1cm当り稔実粒数は5日目に交配した穂が最も多く、88.1粒であった。3日目から5日目までに交配した穂では開花指数と平行して増加し、5日目交配穂で最大となり、以後11日目まではゆるやかに、12日目以後は急激に減少し、19日目には穂長1cm当り0.6粒となった。

5日目交配穂の穂長1cm当り稔実粒数を標準として、これと各交配日の穂長1cm当り稔実粒数との十分比を受精可能花指数とよび、その推移をTable 2およびFig. 2に示した。

受精可能花指数は開花始後3日目で5.1、4日目で7.8、5日目では10.0であった。6日目以降は漸減し、9日目に7.0、12日目に4.8、16日目に1.1、19日目に0.07となった。経過日数(i)と受精可能花指数(ri)との間

には、5日目から11日目の間では、 $ri = -0.50i + 12.02$, $r = -0.933^{**}$ が、11日目から17日目の間では、 $ri = -1.05i + 17.60$, $r = -0.971^{**}$ が認められた。回帰式から推定した受精可能花指数をTable 2に示した。

3) 受精不能花指数の推移

受精不能花指数の推移をFig. 3に示した。

受精不能花指数は6日目から11日目まではややゆるやかに、12日目以降は急激に増加し、15日目に8.0、18日目に9.8、19日目には9.93に達した。経過日数(i)と受精不能花指数(li)との間には、5日目から11日目の間では、 $li = 0.50i - 2.02$, $r = 0.933^{**}$ 、11日目から17日目の間では、 $li = 1.05i - 7.60$, $r = 0.971^{**}$ 、が認められた。

4) 授精能力の推移

袋をかけて受精を回避した開花始後5日目(袋がけ時に既開花部は切除したので6日目ではない)の605A穂と605B穂とを、予め定めた時刻に交配し、605A穂の稔実状態を当該時刻における605Bの授精能力とみなして、その推移をFig. 4に示した。稔実状態は穂長1cm当り稔実粒数で評価した。

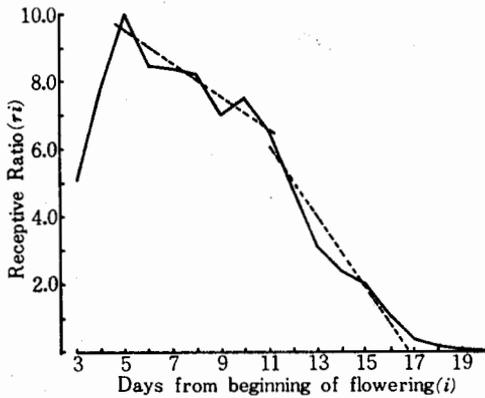


Fig. 2 Change of receptive ratio of a panicle of 390A

Note; Broken lines indicated the regressions between i and r_i . $r_i = -0.5i + 12.02$ from 5th to 11th and $r_i = -1.05i + 17.60$ from 11th to 17th were obtained where $r = -0.933^{**}$ and -0.971^{**} , respectively.

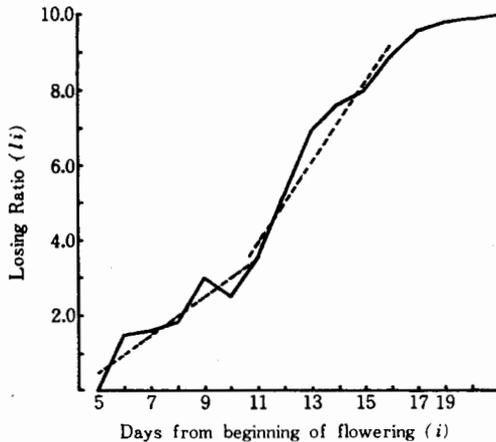


Fig. 3 Change of losing ratio of a panicle of 390A.

Note; Broken lines indicated the regressions between i and l_i . $l_i = 0.50i - 2.02$ for the period from 5th to 11th day and $l_i = 1.05i - 7.60$ for that from 11th to 17th day were obtained where $r = 0.933^{**}$ and $r = 0.971^{**}$, respectively.

穂長 1 cm 当りの稔実粒数は 5 時 30 分交配で 23.6 粒、以後 9 時 30 分交配までは漸増した。以後は急減し、12 時交配では 10.0 粒、13 時 30 分交配では 0.6 粒であった。交配時刻 (t) と穂長 1 cm 当り稔実粒数 (Yt) との間には、例外的な 3 点を除くと 5 時 30 分から 9 時 30 分までの間では、 $Yt = 9.72t - 31.05$, $r = 0.961^{**}$ が 9 時 30 分から 14 時までの間では、 $Yt = -13.95t + 187.59$, $r = -0.856^{**}$

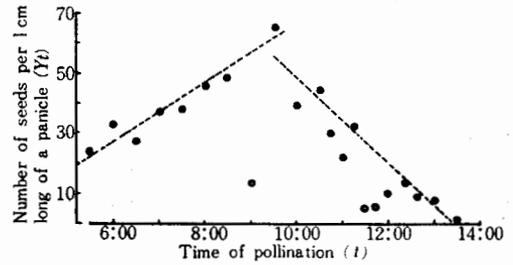


Fig. 4 Daily change of pollinating capacity as measured by seed setting on malesterile line.

Note; Broken lines indicated the regressions between Y_t and t . $Y_t = 9.72t - 31.05$ for the period from 5:30 to 9:30 and $Y_t = -13.95t + 187.59$ for that from 9:30 to 14:00 were obtained where $r = 0.961^{**}$ and $r = -0.856^{**}$, respectively.

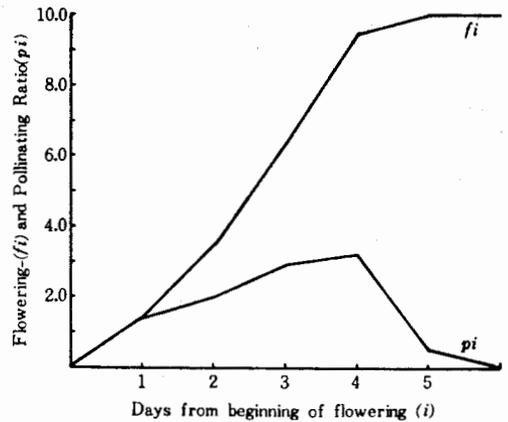


Fig. 5 Change of Flowering ratio and pollinating ratio of a panicle of Regs. Hegari.

が認められた。

5) 授精可能花指数の推移

Fig. 1 から Regs. Hegari の授精可能花指数を求めその推移を Fig. 5 に示した。

授精可能日数は 5 日間、2 日目から 4 日目までが授精可能花指数 2.0 以上となった。最大値は 4 日目の 3.2 であった。

4. 考 察

単一穂における開花の推移、授、受精能力の推移を調査したところ、次の点が明らかとなった。

① 単一穂における開花指数は開花始後、直線的に増加し、3 日目には全穂の 1/2 以上が、4 日目には 3/4 以上が、5 日目には穂基部まで開花した (Fig. 1)。

② 単一穂における受精可能花は、開花が穂の基部に達

する5日目でもっとも多く、以後4日間は高い値を維持した (Fig. 2)。

③単一穂における花粉の授精能力は開花当日の10時頃までは高いが、以後は急減し、14時にはほとんど能力を失った。このことは授精に関与し得る顕花は、当日新しく開花した顕花に限定されることを意味し、 $P_i = f_i - f_{i-1}$ で授精可能花指数を推定できる根拠が得られた (Fig. 4)。

④単一穂の授精可能花指数は開花始後2日目から4日目の間が高かった (Fig. 5)。

単一穂間の交配で高い採種量を得るためには少なくとも次の3つの条件が満足されなければならない。

①種子親が大きな穂をもち、十分な受精能力を有している。

②授、受精が十分に行なわれ、不受精花を生じない。

③病虫害、鳥害等の障害がなく、登熟の条件が良い。このうち、①と③とは本稿では直接対象としていないので、②を中心に検討を加えてみたい。

授、受精が十分に行なわれ、不受精花を生じないためには、次の4つの条件が満足されなければならない。

①種子親穂は高い受精可能花指数をもつ。

②花粉親穂は高い授精可能花指数をもつ。

③両親が最も好ましい状態で交配される。

④授、受精可能期間は可能な限り長い。

この内、④については、氏原ら¹⁰⁾は、びん掛法による交配では、花粉親穂の寿命は2～3日としており、筆者らも、びん掛法では、スーダングラスを花粉親とすれば1日、子実型ソルガムでは2～3日間機能をもつことを経験している。従って、ここでは④については1又は2日間と考えて、以下の検討を進めることとする。

単一穂同士をびん掛法によって、1日間だけ交配する場面を想定すると、①に対しては開花始後5日目の穂、②に対しては開花始後4日目の穂が、それぞれ条件に適合し、両者を種子親の開花始後5日目に交配することが③の条件を満足させる。これが期待できる採種量の最大値となる。本稿では既述のように、1穂当り1666粒、52gが得られている。いま、仮に、目標採種量を最大採種量の80%以上と、仮定すると、これを達成し得るのは、Fig. 2 および Fig. 4 から、開花始後5～8日目の種子親穂と、開花始後2～4日目の花粉親穂とを、種子親穂の開花始後5～8日目に交配する組合せとなる。この組合せには開花始後5日目の種子親穂に4日目の花粉親穂を組合せる場合から、開花始後8日目の種子親穂に2日目の花粉親穂に組合せる場合までがある。換言すれば、種子親穂の開花始が花粉親穂の開花始よりも1～6日早

い組合せを、種子親の開花始後5～8日目に交配すれば、最大採種量の80%以上の採種量が期待できることになる。

つぎに、花粉親穂の授精能力期間が2日間である場合については、上記の目標採種量を達成し得る両親の組合せは開花始後4～8日目の種子親穂と2～4日目の花粉親穂とを組合せた場合である。この場合、花粉の供給が2日間にわたるため、1日当りの花粉供給量が相対的には少なくてすみ、1～5日目までの花粉親穂が利用できる、と考えれば、目標を達成し得る両親穂の組合せは、開花始後4～8日目の種子親と1～5日目の花粉親とを組合せる、すなわち、種子親穂の開花始が1～7日間早い場合となる。

以上の検討から、単一穂間の交配では、種子親の開花指数10.0到達日に交配すれば、種子親穂の開花始が花粉親穂の開花始よりも1～3日間早い組合せで最大の採種量が期待でき、1～6日間早い場合でも最大値の80%以上の採種量を得ることができると言える。また、花粉親穂の花粉供給期間が2日間にわたる場合には組合せの幅は1～2日拡がり、種子親穂の開花始が1日遅い場合から7日早い場合までの組合せを、種子親の開花指数10.0到達日に交配すれば、最大採種量の80%以上の採種量が期待できる。

びん掛法によって交配を行なう場合、種子親穂を花粉親穂とを同一の袋でおおい、自由に交配させる、しかし、袋内ではほとんど風の動きがないため、花粉の飛散は十分には行なわれ難い。こうした条件下では、両親穂の授受精能力は十分であっても、多くの不受精花が生じる。これを避けるためには、花粉の授精能力が十分保持されている午前9時から10時の間に、外部から袋をたたいたり、ゆり動かしたりして、花粉の飛散を促すことが肝要である。

氏原ら¹⁰⁾は細胞質雄性不稔系統を種子親とする個体間交配は穂の基部が完了した直後 (本稿で言う開花指数10.0到達日)、遅くとも開花終了後2～3日の間に行なわれるべきである、と述べている。この指摘は既述の検討結果とよく一致している。

III 小集団間交配における花粉供給のタイミング

1. 材料および方法

1) 供試材料

390A および Regs. Hegari の集団を供試した。供試材料は1978年5月16日、畦幅60cm、株間20cmに、4～5粒を点播し、間引いて1本立とした。養成した各60個体

Table 3 Values used to estimate average receptive and losing ratio in 390A population

Days from flowering (i)	Receptive ratio of a panicle			Losing ratio of a panicle		
	Observed	Regression	Used	Observed	Regression	Used
1	—	1.1	1	—	—	0
2	—	3.4	3	—	—	0
3	5.1	5.7	5	—	—	0
4	7.8	8.0	8	—	—	0
5	10.0	10.0	10	—	—	0
6	8.5	9.0	9	1.5	1.0	1
7	8.4	8.5	8	1.6	1.5	2
8	8.2	8.0	8	1.8	2.0	2
9	7.0	7.5	7	3.0	2.5	3
10	7.5	7.0	7	2.5	3.0	3
11	6.5	6.5	6	3.5	3.5	4
12	4.8	5.0	5	5.2	5.0	5
13	3.1	3.9	4	6.9	6.1	6
14	2.4	2.9	3	7.6	7.1	7
15	2.0	1.9	2	8.0	8.1	8
16	1.1	0.8	0	8.9	9.2	10
17	0.4	—	0	9.6	—	10

中各52個体を供試した。

2) 調査方法および結果の表示法

実測による調査は390Aおよび Regs. Hegari の両小集団について、日別の開花個体数および開花指数とした。調査は7月23日から8月4日まで毎朝行なった。

開花指数、受精可能指数、受精不能指数および授精可能花指数を下式によって推定、算出した。

$$\hat{f}_i = (f_1 n_i + f_2 n_{i-1} + \dots + f_i n_1) / \sum ni$$

$$\hat{r}_i = (r_1 n_i + r_2 n_{i-1} + \dots + r_i n_1) / \sum ni$$

$$\hat{l}_i = \hat{f}_i - \hat{r}_i$$

$$\hat{p}_i = \hat{f}_i - \hat{f}_{i-1}$$

但し、 n_i は開花始後 i 日目の開花始に到達した個体数を示し、 $\sum ni = 52$ である。

結果は Table 1 に従って示したが、実測値、推定値ともに52個体の平均値であるため、開花指数および授精可能花指数の実測値にはそれぞれ、 \hat{f}_i および \hat{p}_i を、開花指数、受精可能花指数、受精不能花指数および授精可能花指数の推定値には \hat{f}_i , \hat{r}_i , \hat{l}_i および \hat{p}_i の略号を用いた。なお、推定に用いた単一穂における各指数の推移は Table 3 に示す通りである。

2. 結 果

1) 開花指数の推移

390 A は 7 月 25 日に開花が始まり、4 日目の 7 月 28 日に開花期に、5 日目の 29 日に開花揃に達した。全個体が開花始に到達するのに 9 日間を要した。

Regs. Hegari は 7 月 23 日に開花が始まり、4 日目の 26 日に開花期に、6 日目の 28 日に開花揃に達した。全個体が開花始に到達するのに 8 日間を要した。

390A および Regs. Hegari 集団における開花指数の実測値 (\bar{f}_i) および推定値 (\hat{f}_i) の推移は Table 4 および Fig. 6 に示す通りである。

390 A 集団における開花指数の実測値はシグモイド曲線に沿って推移した。開花期の開花指数は 1.63、開花揃のそれは 3.38 で、開花始後 6 日目に 5.0 に、8 日目に 9.0 に達し、12 日目に 10.0 となった。

390 A 集団における開花指数の推定値は実測値とはほぼ同様に推移した。しかし、6 日目以降は、実測値よりもやや低目であった。経過日数 (i) と開花指数の推定値 (\hat{f}_i 対数変換値) との間には $r = 0.994^{**}$ の相関が認められ、その推移は $\log \hat{f}_i / (10 - \hat{f}_i) = 0.396 (i - 6.11)$ で表された。また実測値 (\bar{f}_i) と推定値 (\hat{f}_i) との間には、 $\bar{f}_i = 0.98 \hat{f}_i + 0.21$, $r = 0.979^{**}$, が認められ、推定値と実測値とはよく一致した。

Regs. Hegari 集団における開花指数の実測値は、390 A の場合と同様に、シグモイド曲線に沿って推移し

Table 4 Change of average flowering ratio in 52 plants populations of 390A and Regs. Hegari.

<i>i</i>	390A					Regs. Hegari				
	<i>ni</i>	<i>Sni</i>	(%)	\bar{f}_i	\hat{f}_i	<i>ni</i>	<i>Sni</i>	(%)	\bar{f}_i	\hat{f}_i
1	2	2	3.8	0.03	0.04	6	6	11.5	0.17	0.12
2	6	8	15.4	0.16	0.23	2	8	15.4	0.48	0.38
3	8	16	30.8	0.83	0.69	9	17	32.7	1.12	0.98
4	21	37	71.1	1.63	1.75	13	30	57.7	2.42	2.04
5	7	44	84.6	3.38	3.42	9	39	75.0	3.95	3.46
6	3	47	90.4	5.29	5.25	8	47	90.4	5.86	5.27
7	2	49	94.2	7.90	7.19	4	51	98.1	7.55	7.10
8	2	51	98.1	9.00	8.63	1	52	100.0	8.73	8.50
9	1	52	100.0	9.44	9.25				9.35	9.40
10				9.69	9.60				9.92	9.85
11				9.96	9.83				10.00	9.98
12				10.00	9.96				10.00	10.00
13				10.00	10.00				10.00	10.00

Notes; *i*: Days from beginning of flowering in population. *ni*: Number of plants reached first flowering. *Sni*: Accumulated number of plants reached first flowering. (%): Percentage of *Sni* to total number of plants. \bar{f}_i : Average flowering ratio of population. \hat{f}_i : Estimated value of \bar{f}_i .

た。開花期の開花指数は2.42、開花揃のそれは5.86で、いずれも390Aにおける値よりも大きかった。開花始後

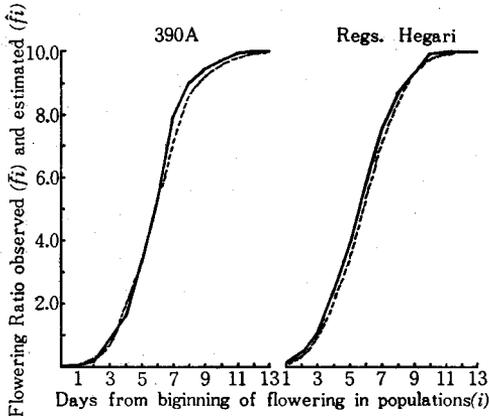


Fig. 6 Change of observed and estimated values of flowering ratios in 52 plants populations of 390A and Regs. Hegari.

Note: Solid lines indicated the observed (\bar{f}_i) and broken ones estimated values. (\hat{f}_i).
Between \hat{f}_i and *i*, $\log \hat{f}_i / (10 - \hat{f}_i) = 0.396$ (*i*-6.11) for 390A and $\log \hat{f}_i / (10 - \hat{f}_i) = 0.416$ (*i*-5.62) for Regs Hegari were obtained where $r = 0.994^{**}$ and 0.990^{**} , respectively.

11日目に開花指数10.0に達した。

推定値は実測値とほぼ同様に推移した。しかし、開花始後2日目から8日目の間は実測値よりも幾分低目であった。経過日数 (*i*) と推定値 (\hat{f}_i 対数変換値) との間には $r = 0.990^{**}$ の相関が認められ、その推移 $\log \hat{f}_i / (10 - \hat{f}_i) = 0.416$ (*i*-5.62) で表わされた。また実測値 (\bar{f}_i) と推定値 (\hat{f}_i) との間には、 $\bar{f}_i = 0.99 \hat{f}_i + 0.29$ $r = 0.999^{**}$ が認められ、両者はよく一致した。

2) 受精可能花指数の推移

Table 3,4 から390A集団における受精可能花指数を算出し、その推移を Fig. 7 に示した。

受精可能花指数は開花始後3日目まではゆるやかに、4日目から8日目までは急激に増加し、9日目に最大となった。10日目以後13日目まではゆるやかに減少したが、14日目以降は幾分急激に減少した。

経過日数 (*i*) と受精可能花指数 (\hat{r}_i) との間には、3日目から8日目までの間には、 $\hat{r}_i = 1.57i - 4.26$, $r = 0.997^{**}$, 8日目から13日目の間には、 $\hat{r}_i = -0.36i + 11.50$, $r = -0.981^{**}$, 13日目から19日目の間には、 $\hat{r}_i = -0.97i + 19.52$, $r = -0.999^{**}$ がそれぞれ認められた。

3) 受精不能花指数の推移

開花指数の推定値と受精可能花指数(推定値)とから、受精不能花指数を求め、その推移を Fig. 7 に示し

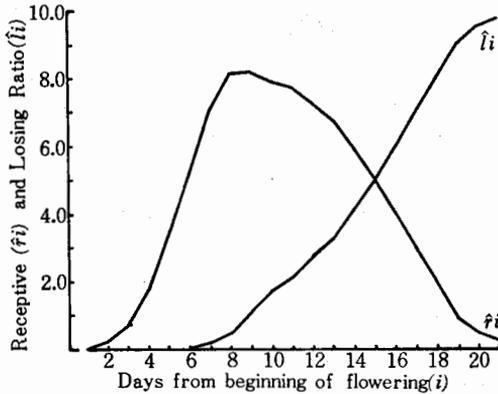


Fig. 7 Change of receptive- and losing ratio in 52 plants population of 390A.

た。

受精不能花指数は6日目以降8日目まではゆるやかに、9日目から13日目まではややゆるやかに、14日目以降は急増して、19日目には受精不能花指数9.0、21日目には9.8に達した。

経過日数 (i) と受精不能花指数 (\hat{l}_i) との間には、8日目から13日目の間には、 $\hat{l}_i = 0.36i - 1.50$, $r = 0.981^{**}$, 13日目から19日目の間では、 $\hat{l}_i = 0.98i - 9.52$, $r = 0.999^{**}$ が認められた。

4) 授精可能花指数の推移

Regs. Hegari 集団における授精可能花指数の実測値および推定値を Fig. 8 に示した。

授精可能花指数の実測値は開花揃 (開花始後6日目) を頂点とする一峰型の山型曲線に沿って推移した。開花始日の授精可能花指数は0.17、3日目には0.64、4日目 (開花期) には1.30、6日目に最大値1.91となり、7日目以降は漸減し、8日目には1.18、10日目には0.47、12日目には0となった。

経過日数 (i) と授精可能花指数の実測値 (\bar{p}_i) との間には、開花始日から6日目までの間では、 $\bar{p}_i = 0.37i - 0.35$, $r = 0.986^{**}$ が、6日目から12日目の間では、 $\bar{p}_i = -0.34i + 2.21$, $r = -0.983^{**}$ が認められた。

授精可能花指数の推定値は実測値に比べて、6日目までは幾分低目に、以後は幾分高目であった。実測値 (\bar{p}_i) と推定値 (\hat{p}_i) との間には、 $\bar{p}_i = 0.97\hat{p}_i + 0.02$, $r = 0.974^{**}$ が認められ、両者はよく一致した。

3. 考 察

単一穂における各指数を類型化し、各52個体から成る実測小集団に適用して、開花指数、授精可能花指数、受

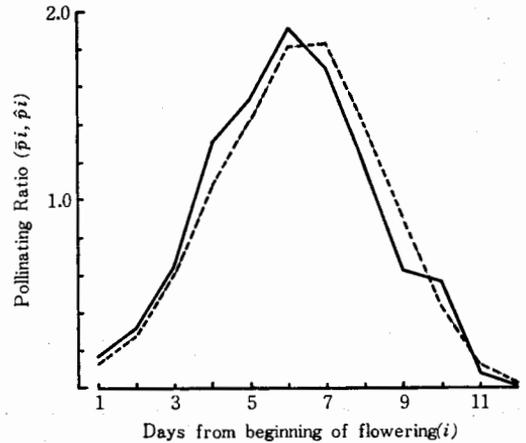


Fig. 8 Change of pollinating ratio in 52 plants population of Regs. Hegari

Note; Solid line indicated observed value (\bar{p}_i) and broken one estimated (\hat{p}_i).

精不能花指数および授精可能花指数の集団としての平均値の推移を調査し、次の点を明らかにした。

①小集団における開花指数および授精可能花指数の実測値と推定値とはよく一致し、推定式の妥当性が示された (Table 4, Fig. 6,8)。

②供試集団の平均開花指数は、集団における開花始日からの日数の経過に伴いシグモイド曲線に沿って増加した (Table 4, Fig. 6)。

③種子親 390 A 集団の平均授精可能花指数は、開花始後9日目を最大として、急激な増加 (8日目まで) と比較的ゆるやかな減少とから成る山型曲線に沿って推移した (Fig. 7)。

④種子親 390 A 集団の平均受精不能花指数は6日目以降に値をもち、13日目まではゆるやかに、以後は急増した。開花始後8日目までは1.0以下であった (Fig. 7)。

⑤花粉親 Regs. Hegari 集団の平均授精可能花指数は6日目を最大とし、増加期 (5日目まで)、減少期 (7日目以後) とほぼ同様な勾配をもつ山型曲線に沿って推移した。3日目から9日目までの7日間が授精可能花指数0.5以上の範囲にあった (Fig. 8)。

ここに供試した390Aと Regs. Hegari との集団間の交配における期待採種量の推定を行なうためには、次の3点を明らかにしておく必要がある。

①実測値、推定値のいずれを用いて推定するか。

②花粉の供給期をどの様に表示するか。

③集団間の交配によって授、受精が完全に行なわれるために必要な授精可能花指数の下限値をいくりにするか。

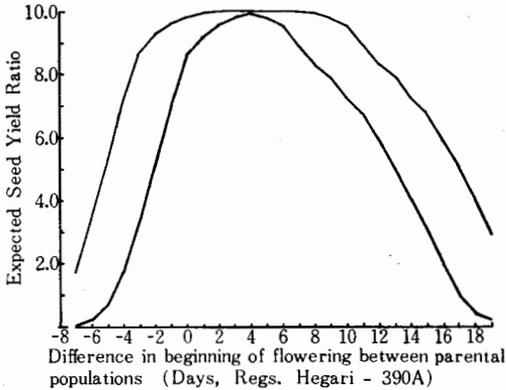


Fig. 9 Change of expected seed yield ratio brought by the difference in beginning of flowering between parental populations.

Note; Lower line indicated the expected seed yield ratio which was assumed that fertilization was completely realized when the pollinating ratio lay above 0.5 in population. Upper line indicated the expected seed yield ratio which was assumed that fertilization was realized during all flowering period.

まず①については、実測値が一部でしか得られておらず、実測値と推定値とを混用すると理論式、たとえば、 $\hat{u} = \hat{f} - \hat{r}$ などが成立しない場面が生ずるので、ここでは統一的に推定値を用いることとした。

つぎに、②については種子親 309 A 集団における開花始日を基準としてとりあげ、これと花粉親 Regs. Hagarri 集団の開花始日との差を、(Regs. Hegari—390A) 日で示すこととした。従って、Regs. Hegari の開花始が早ければ (-) の値となり、390 A が早ければ (+) の値となる。

さらに、③については、開放条件下での集団間交配における花粉供給量と授精率または採種量との関係を定量的に検討した事例がないため、集団の授精可能花指数が 0.5 以上にある場合は、授、受精が完全に行なわれ、0.5 未満では全く行なわれない、と仮定した。

これらの前提に従って小集団間交配における採種量を推定した。

まず、種子親集団と花粉親集団とが同時に開花始に達した場合花粉親集団の授精可能花指数は Fig. 8 に従って推移し、開花始後 3 日目から 9 日目までが 0.5 以上にある。これに対して種子親集団では花粉の供給が開始される 3 日目の開花指数は 0.69、以後漸増して、花粉供給最終日の 9 日目には 9.25 に達する。③の仮定によって、3 日目から 9 日目の間にある種子親は完全に授精されるので、この場合の期待採種量は、花粉供給最終日の種子

親集団の開花指数 9.25 に対応する値となる。

花粉親集団の開花始が種子親集団より 1 日早い場合は、両親集団が同日に開花始に達した場合よりも、1 日早く授精が始まり、1 日早く授精が終了する。従って期待採種量は種子親集団の 8 日目の開花指数 8.63 に対応する値となる。以下同様に、花粉親集団の開花始が種子親集団のそれよりも 2 日早ければ 7.19、3 日早ければ 5.25 …… 8 日早ければ 0.04 と、390 A 集団における開花指数と同一の経過をたどることになる。

一方、花粉親集団が種子親集団よりも遅く開花始に達する場合については、次の三つのケースがある。

①花粉の供給が種子親集団に受精不能花が出現する前に始まる。

②花粉の供給が、種子親集団に受精不能花が出現した後に始まり、種子親集団の開花指数が 10.0 に達する前に終了する。

③花粉の供給が、種子親集団に受精不能花が出現した後に始まり、種子親集団の開花指数が 10.0 に達した後に終了する。

①のケースは花粉親集団の開花始が種子親集団のそれよりも、1 および 2 日遅い場合が該当する。この場合は花粉の供給が開始される時点では受精不能花は存在しないから、期待採種量は花粉供給最終日の、種子親集団の開花指数と対応する値となる。すなわち、花粉親集団の開花始が種子親集団のそれよりも 1 日遅い場合は種子親集団の開花指数 9.60 に、2 日遅い場合は、同 9.83 に対応する値となる。

②のケースは花粉親集団の開花始が種子親集団のそれよりも 3 日遅い場合が該当する。この場合は、花粉の供給が開始される時点で、既に受精不能花が存在している。この部分は既に受精能力を失っているため稔実しない。花粉供給開始期の種子親集団の受精不能花指数は 0.04、花粉供給最終日の種子親集団の開花指数は 9.96 であるから、期待採種量は両者の差、 $9.96 - 0.04 = 9.92$ に対応する値となる。

③のケースは花粉親集団の開花始が種子親集団のそれよりも 4 日以上遅い場合が該当する。この場合は花粉供給最終日の種子親集団の開花指数は 10.0 であるから、期待採種量は 10.0 から花粉供給開始日の種子親集団の授精可能花指数を差し引いた値となる。4 日遅れでは $10.0 - 0.19 = 9.81$ 、5 日遅れでは 9.54 …… 12 日遅れでは 5.00 …… 等に対応する値が期待採種量となる。

以上の、期待採種量の推移をまとめて、Fig. 9 に示した。これによると期待採種量が最大となる両親集団間の組合せは、種子親集団が花粉親集団より 3 日早く開花

始に達する場合にある。また、種子親集団の開花始が花粉親集団のそれよりも0～5日間早い場合には、期待採種量は開花指数9.0以上に対応する値となっている。

Fig. 9 の検討結果は、集団間の授、受精が完全に行なわれるためには、授精可能花指数0.5以上でなければならない、また授精可能花指数0.5未満は、授、受精には全く関与しない、との仮定に立って行なったものであった。このため、期待採種量の変動は実際のは場における推移よりも、ドラスティクな変動を示しているものと考えられる。いま仮に、前記の仮定をとり除き、花粉の供給期を開花始から12日目までの12日間とし、この間授、受精は完全に行なわれる、と仮定して、期待採種量を推定すると、この値は、授、受精関係からみた、期待採種量の最大値となる。この仮定に従って推定した採種量の推移を Fig. 9 に併示した。これによると、期待採種量が開花指数9.0と対応する値となる範囲は種子親集団の開花始が花粉親集団のそれよりも9日早い場合から3日遅い場合までとなる。

実際の採種は場では、両者の中間的な形で推移すると考えられ、種子親集団の開花始が花粉親集団とはほぼ同時または5～6日の範囲内で早い場合に、高い採種量が期

待できると云うことができる。

以上の結果は、単一穂間の交配で、種子親穂の開花始が1～5日または-1～7日の範囲内で、花粉親穂の開花始よりも早い場合に、高い採種量が期待できる、とした結論と、軌を一にしている。山西省忻県地区種子站⁸⁾は、理想的な花期は母本(種子親集団)の盛花期(本稿での開花指数 $f_i = 8.5$)が父本(花粉親集団)の盛花期よりも2～3日早い場合に、最大の採種量が得られる、と述べているが、本試験の結果は、これともほぼ一致している。

本章では実測小集団を対象に検討を試みたが、この結果は、一実験事例にすぎず、普遍化することはできない。開花始個体数の日別分布や、全個体が開花始に達するに要する日数は、いずれも、供試集団個有のものであるからである。ある程度まで、普遍化し得る検討結果を得るためには、供試集団の特徴が明確で、集団間の差が明確にとらえられていることが前提となる。この点については次章で検討を行なうので、ここではふれない。

IV 任意の集団間交配における花粉供給のタイミング

1. 材料および方法

1) 供試した仮想集団

本章では二つのカテゴリーの集団を想定した。その一つは、開花始個体数の日別分布が異なる集団である。このため、全個体が9日および13日間で開花始に達する集団のそれぞれで、開花始個体数が前期に偏っている集団(E型集団)、後期に偏っている集団(L型集団)、正規分布をする集団(N型集団)を想定し、Fig. 10に示す計6集団を対象とした。

いま一つの仮想集団は、開花始個体数の日別分布はN型であるが全個体が開花始に達するのに要する日数が異なる集団である。これには4日間で完了する集団(4N集団)から15日間を要する集団(15N集団)まで、12集団を想定し、検討の対象とした。

なお、E型集団にはポアソン分布を、L型集団にはポアソン分布の逆分布を適用した。

2) 関係指数の算出法

下に示す推定式によったが、 ni については相対頻度(%)で示したため、 $\sum ni = 1$ となった。単一穂における各指数の期待値は、Table 3に示した値を用いた。

$$\hat{f}_i = (f_1 n_i + f_2 n_{i-1} + \dots + f_i n_1) / \sum n_i$$

$$\hat{r}_i = (r_1 n_i + r_2 n_{i-1} + \dots + r_i n_1) / \sum n_i$$

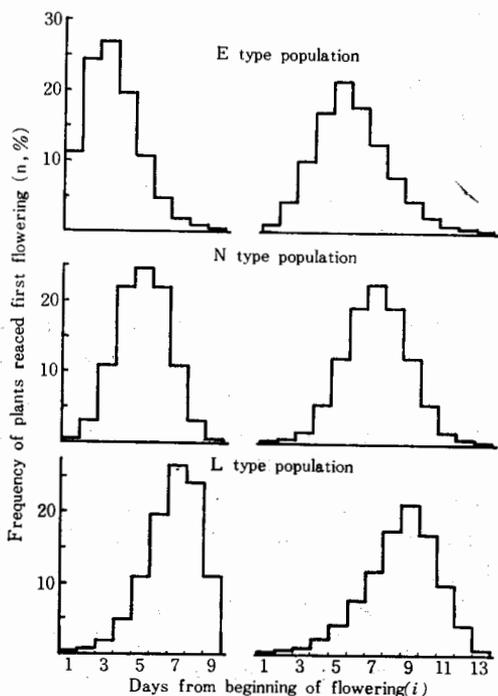


Fig. 10 Frequency distribution of plants reached first flowering in the assumed populations discussed in present paper.

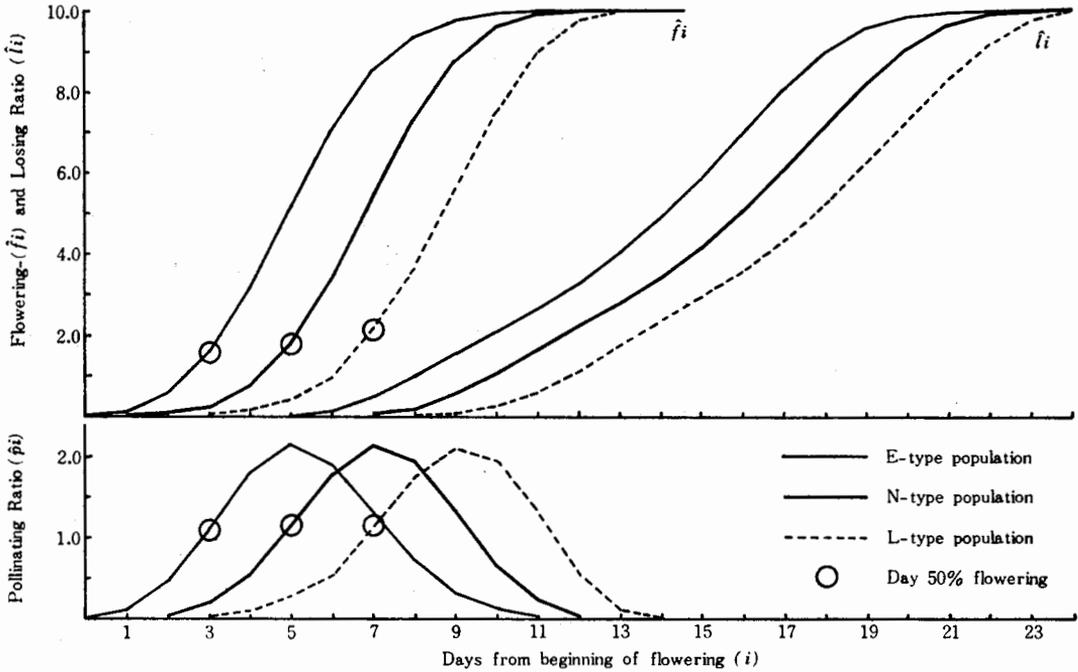


Fig. 11 Change of flowering-, losing and pollinating ratio in three assumed populations which all plants reached first flowering in 9 days.

Note : *50 % flowering meant 50 percent of plants in population reached first flowering.

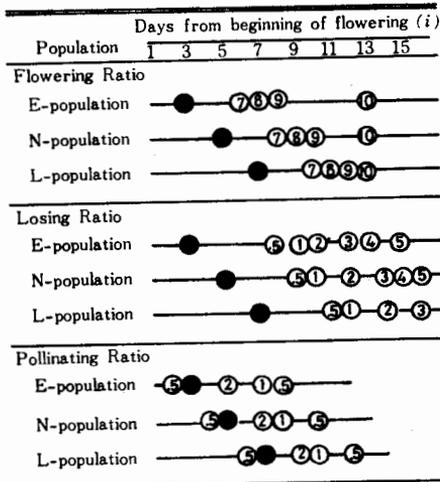


Fig. 12 Relation between the date of 50% flowering and those reached definite values of ratio in 3 different populations completely realized flowering in 9 days

Note ; ● indicated day 50% flowering.

$$\hat{li} = f_i - r_i$$

$$\hat{Pi} = f_i - f_{i-1}$$

3) 結果の表示法

前章に準じて、 \hat{fi} , \hat{li} , \hat{Pi} の略号を用いて、Table 1 に示した用語で表示した。

2. 結 果

1) 開花始個体数の日別分布が異なる集団における開花指数、受精不能花指数および授精可能花指数の推移
全個体が開花始に到達するのに9日間を要する3種の集団における開花指数、受精不能花指数および授精可能花指数の推移を Fig. 11 に示した。

供試集団の開花期はE型集団では開花始後3日目、N型集団では5日目、L型集団では7日目で、開花揃は開花期の翌日であった。

開花指数は3集団とも、シグモイド曲線に沿って増加したが、E型集団では増加の開始が早く、L型集団では遅く、N型集団では両者の中間にあった。開花期の開花指数はE型集団では1.55、N型集団では1.77、L型集団では2.03であった。また開花揃における開花指数はそれぞれ3.11、3.36および3.62であった。開花指数5.0到達

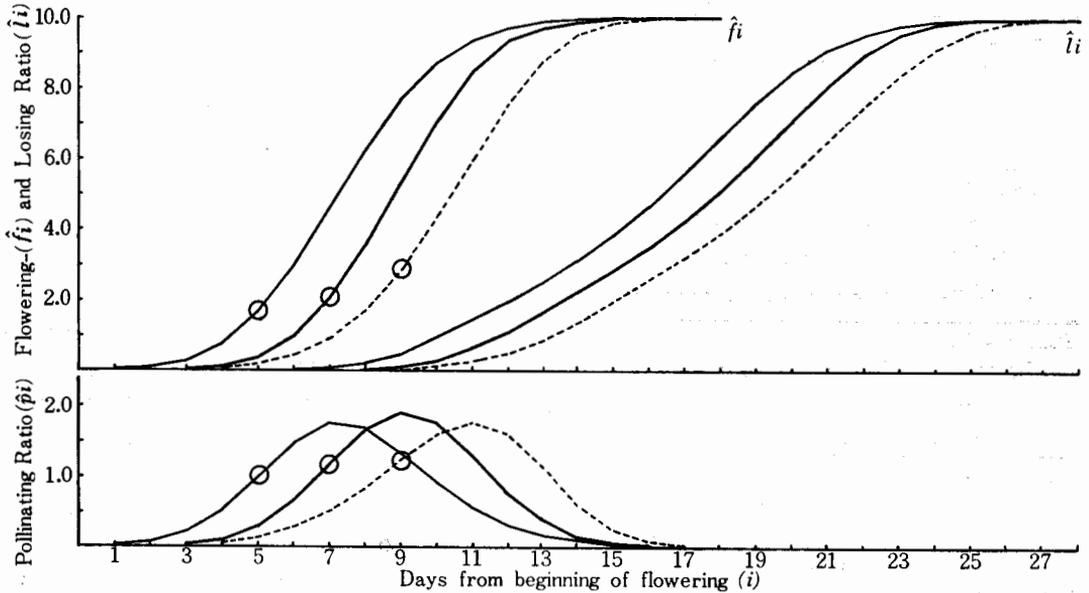


Fig. 13 Change of flowering-, losing- and pollinating ratio in three assumed populations which all plants reached first flowering. in 13 days.

Note ; marks in figure were same as in Fig. 11.

は12日目又は13日目であった。

受精不能花指数は6日目から値をもち、ゆるやかなシグモイド曲線に沿って増加した。E型集団では9日目に1.0を、13日目に4.0を、15日目に5.0を、19日目に9.0をそれぞれ上まわった。N型集団では10日目に1.0を、15日目に4.0と、16日目に5.0を、20日目に9.0を上まわった。L型集団では同様に12日目に1.0を、17日目に4.0を18日目に1.0を、22日目に9.0を上まわった。

授精可能花指数は開花揃日翌日を頂点とする山型曲線に沿って増減した。E型集団では3日目から8日目までの6日間、N型集団では4日目から10日目までの7日間

L型集団では6日目から12日目までの7日間で、それぞれ、0.5を上まわった。

各集団における開花指数7.0、8.0、9.0、10.0到達日、受精不能花指数0.5、1.0および2.0到達日、授精可能花指数0.5以上の期間と、各集団の開花期との関係をまとめて、Fig. 12 に示した。これによると、開花期から各指数到達までの日数はほぼ一定しており、開花始個体数の日別分布を異にする集団間でも、ほとんど差を認めなかった。すなわち、開花期から開花指数9.0到達日までの日数は各集団とも5日間、授精不能花指数0.5到達日までは4～5日間、授精可能指数0.5到達日は開花期の

Table 5. Days required to reach the demands from 50% flowering in twelve N type populations differed in days to realize the first flowering in all plants.

Demands	Days from 50% flowering											
	Populations to realize the first flowering in all plants in following days.											
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$\hat{f}_i = 9.0$	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	6	5
$\hat{l}_i = 1.0$	6	5	6	5	6	5	6	5	6	5	6	5
$\hat{p}_i = 0.5$	0	0	0	0	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1
Days $\hat{p}_i \geq 0.5$	6	5	6	6	6	7	6	7	6	7	7	7

Note ; 50% flowering meant that 50 percent of plants in population reached first flowering.

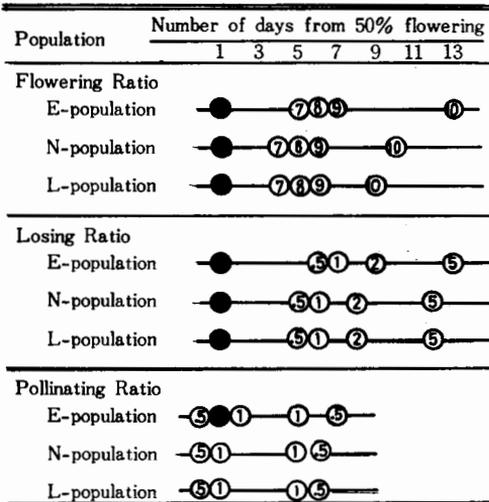


Fig. 14 Number of days from 50% flowering to the definite values of ratios in three different populations completely realized flowering in 13 days.

Note; ● indicated day 50% flowering.

当日または、前日と開花期到達後6日目であった。

全個体が開花始に達するのに13日間を要する3種の集団における開花指数、受精不能花指数および授精可能花指数の推移を Fig. 13 に示した。また、開花期と各指数の一定値に達するに要する日数との関係を整理して Fig. 14 に示した。

Fig. 13 に示した、全個体が開花始に達するのに13日間を要する集団における各指数の推移は Fig. 11 に示した各指数とほぼ同傾向であった。

Fig. 14 では Fig. 12 におけると同様に、開花期基準で示すと各指数の一定値への到達に要する日数には集団間でほとんど差異を認めなかった。

2) 全個体が開花始に到達するのに要する日数が異なる集団における各指数の推移

全個体が開花始めに達するのに要する日数が4~15日である12集団における関係指数の推移は、前節で示したとほぼ同様な傾向にあった。この内、開花指数9.0、受精不能花指数1.0、授精可能花指数0.5の到達日を開花期を基準(開花期を1日目とする)として整理し、Table 5 に示した。

開花指数9.0到達日は、各集団の開花期を基準とすると、全個体が開花始に到達するに要する日数に関係なく、開花期後5日目であった。例外的に4日目および6日目のものが1例ずつみられた。

受精不能花指数1.0到達日は全個体が開花始に達する

に要する日数が偶数であれば6日目、奇数であれば5日目であった。

授精可能指数0.5到達日は開花期又はその前日であった。

授精可能指数が0.5以上の範囲にある日数は6または7日間で、例外的に5日間のものが1例みられた。

3. 考察

単一穂における開花、授、受精の推移値を、仮想集団に適用して、その推移を検討したところ、次の諸点が明らかとなった。

①開花始個体数の日別分布が前期や後期に偏る集団および正規分布の集団とで検討したところ、各集団とも、開花指数は比較的急勾配のシグモイド曲線に沿って、受精不能花指数は比較的ゆるやかな勾配のシグモイド曲線に沿って、授精可能花指数は開花始の翌日を頂点とする山型曲線に沿って、それぞれ推移した (Fig. 11, 13)。

②上記3種の集団における各指数の推移は開花始日を基準日とした場合には、それぞれ開花期のズレとはほぼ平行的にズレる形で推移した (Fig. 12, 14)。

③全個体が開花始に達するのに4~15日を要する12種のN型集団では、開花期を基準にすると、開花指数9.0到達日は開花期後5日目、受精不能花指数1.0到達日は開花期後5または6日目、授精可能花指数0.5到達日は開花期当日または前日であった。授精可能花指数0.5以上の日数は6または7日間であった。

④以上から、本稿で対象とした集団でみる限り、経過日数算定の基準日として開花期をとりあげると集団間の開花始個体数の日別分布における差異や全個体が開花始に到達するのに要する日数の差異は解消され、ほぼ等しい経過日数で類似の開花、授、受精状態に到達することが明らかになった。

前章におけると同様に、次の2つの仮定を設けて、側面集団間の交配によって期待される採種量を、花粉の供給タイミング別に推定してみよう。

①花粉の供給期は両親集団間の開花期の差(花粉親集団—種子親集団)で示す。

②両親集団間で完全に授、受精が行なわれる授精可能花指数の下限値は0.5以下とする。

集団間の交配では花粉の供給期間は数日に及ぶ。この期間内に受精能力を保持している顕花はすべて授精され稔実する。花粉の供給開始日に既に受精能力を失っている顕花および花粉供給の最終日翌日以降に新しく開花した顕花は授精されず、稔実に至らない。従って、集団間の交配における期待採種量は、花粉供給最終日の種子親

Table 6 Change of expected seed yield ratio brought by the difference in days to 50 % flowering between parental populations.

Difference in days to 50 % flowering between parents	All plants reached first flowering in					
	9 days			13 days		
	E	N	L	E	N	L
-6	0.58	0.73	0.97	1.65	0.99	1.67
-5	1.55	1.77	2.03	2.98	2.03	2.82
-4	3.11	3.36	3.62	4.60	3.53	4.32
-3	5.10	5.33	5.56	6.27	5.31	5.98
-2	7.05	7.27	7.47	7.69	7.07	7.56
-1	8.51	8.76	8.96	8.70	8.46	8.79
0	9.36	9.60	9.78	9.33	9.35	9.51
1	9.77	9.92	9.99	9.69	9.79	9.81
2	9.93	9.99	9.97	9.86	9.93	9.86
3	9.87	9.96	9.90	9.89	9.90	9.74
4	9.53	9.82	9.74	9.79	9.73	9.51
5	9.02	9.49	9.42	9.52	9.39	9.15
6	8.45	8.96	8.90	9.09	8.92	8.64
7	7.90	8.36	8.25	8.59	8.36	8.05
8	7.36	7.78	7.63	8.07	7.78	7.44
9	6.75	7.22	7.07	7.50	7.19	6.79
10	5.99	6.60	6.45	6.87	6.54	6.10
11	5.12	5.85	5.69	6.15	5.78	5.30
12	4.17	4.96	4.79	5.39	4.91	4.41
13	3.08	3.96	3.76	4.38	3.93	3.45
14	1.95	2.87	2.73	3.39	2.90	2.49
15	1.04	1.82	1.71	2.39	1.90	1.60
16	0.46	0.96	0.82	1.51	1.06	0.85

Notes; 1) Crosses were assumed to be conducted between same type populations.

2) Difference in days to 50 % flowering between parents presented in (Pollen parent-Seed parent).

集団における開花指数と花粉供給開始日の種子親集団における授精不能花指数との差によって推定することができる。

全個体が開花始に達するのに9日間を要するE型集団同士を交配するとして、花粉親集団、種子親集団が同時に開花期に達した場合の期待採種量は次の様に算出できる。この集団の花粉供給期間は開花期当日から、開花期後6日目までの6日間である。一方、種子親集団では、花粉供給開始日、すなわち開花期の授精不能花指数は0花粉供給最終日、すなわち開花期後6日目の開花指数は9.36である。従って期待採種量は $9.36 - 0 = 9.36$ となる。

同じ手法によって、Fig. 11 および13に示した6種の集団について、同種の集団間で交配を行なった場合の期

待採種量を算出し、Table 6 に示した。

これによると全個体が開花始に到達するのに9日間を要する集団では、種子親集団の開花期が花粉親集団の開花期よりも1または2日間早い場合に最大の採種量が期待される。また種子親集団の開花期が0~5日間早い場合には9.0以上の採種量が期待できる。期待採種量が5.0以下となるのは、種子親集団の開花期が花粉親集団のそれよりも3日以上遅い、または12日以上早い場合にあり、種子親集団の開花が花粉親集団に比べて遅れる場合には著しい採種量の低下が生ずることが伺われた。

全個体が開花始に達するのに13日間を要する集団では種子親集団の開花期が花粉親集団よりも2~3日間早い場合に最大の採種量が期待され、0~5日間早い場合に9.0以上の採種量が期待された。

Table 7 Change of expected seed yield ratio brought by the different pollen parent populations in the crosses used 13-N-population as seed parent.

Difference in days to 50 % flowering between parents	Pollinating populations					
	All plants flowered in 9 days			All plants flowered in 13 days		
	E	N	L	E	N	L
-5	2.03	2.03	2.03	3.53	2.03	2.03
-4	3.53	3.53	3.53	5.31	3.53	3.53
-3	5.31	5.31	5.31	7.07	5.31	5.31
-2	7.07	7.07	7.07	8.46	7.07	7.07
-1	8.46	8.46	8.46	9.35	8.46	8.46
0	9.35	9.35	9.35	9.79	9.35	9.35
1	9.77	9.79	9.79	9.95	9.79	9.79
2	9.86	9.93	9.93	9.97	9.93	9.93
3	9.72	9.90	9.90	9.91	9.90	9.90
4	9.39	9.73	9.73	9.73	9.73	9.73
5	8.92	9.39	9.39	9.39	9.39	9.39
6	8.36	8.92	8.92	8.92	8.92	8.92
7	7.78	8.36	8.36	8.36	8.36	8.36
8	7.19	7.78	7.78	7.78	7.78	7.78
9	6.54	7.19	7.19	7.19	7.19	7.19
10	5.78	6.54	6.54	6.54	6.54	6.54

Note; Difference in days to 50 % flowering between parents were presented in (Pollen parent-Seed parent).

次に異型集団間で交配を行なった場合の期待採種量の変動を全個体が開花始に到達するのに13日間を要するN型集団を種子親とした場合について算出し、Table 7に示した。期待採種量は花粉の供給期間が異なる集団を用いた場合には若干の変動を生じた。しかし、全体としてはTable 5の同型集団間の交配の場合と同様に推移した。

以上はいずれも花粉の供給期間を授精可能花指数が0.5以上と仮定した場合の期待採種量の推移であった。前章でも述べた様に、実際の採種は場では0.5以下の範囲にあっても授、受精は進行しているし、0.5と云う授精可能花指数に関する仮定にしても、根拠を有するものではない。全個体が開花始に達するのに13日間を要する集団では、授精可能花指数についての仮定値を0.3以上とすると、花粉供給日数は1日ずつ増加する。この場合の期待採種量は当然Table 5とは異なってくる。そこで、花粉供給期間の増加に伴って、期待採種量がどの様に変動するかについて検討を加え、結果をFig. 15~17に示した。

種子親集団には、全個体が開花始に到達するのに13日間を要するN型集団を用い、これに同一型の集団を花粉

親として用いる場合を標準とした。花粉供給期間が開花期に到達する以前の時期で1~4日増加した場合（これを前期側に1~4日増加とよぶ）、到達した後の時期で1~4日増加した場合（これを後期側に1~4日増加とよぶ）前後にそれぞれ1または2日増加した場合の期待採種量を算出した。

まず前期に1~4日間増加した場合の期待採種量の推移はFig. 15の通りである。1日間増加すると、標準では稔実に至らない顕花が、前日からの花粉供給によって授精され稔実するために、授精不能花の出現が標準より1日おくれて発生することになる。このため、期待採種量は1日分だけ、多い側にずれて推移し、期待採種量9.0以上の期間は、種子親集団の開花が花粉親集団より早いところで1日増加し、両親集団間の開花期の差が0~6日間の範囲となる。2日間以上の増加でも同様で、増加日数と対応して、期待採種量9.0の範囲は拡大する。

花粉供給日数が後期に1~4日間増加した場合の期待採種量の推移はFig. 16の通りである。後期の側で1日増加すると、標準では授精できない新しく開花した顕花を、翌日までの花粉供給によって稔実させることができ

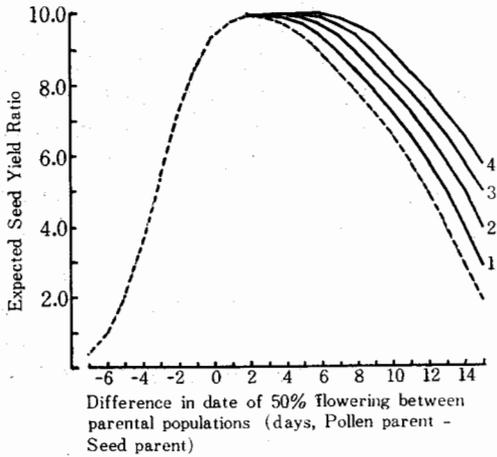


Fig. 15 Effect of elongation of pollinating duration in earlier half period on the expected seed yield ratio in 13-N-population.

Note: Broken line indicated the standard change of expected seed yield ratio, assuming that pollination continued for 7 days.

Solid lines indicated the changes of expected seed yield ratio when 1, 2, 3, and 4 more days were added to pollinate in earlier half period of pollination.

る。このため、期待採種量 9.0 以上の期間は種子親集団の開花が花粉親集団よりも遅い側で 1 日増加し、両親集団間の開花期の差が 1~5 日間の範囲となる。2 日以上の増加でも同様で、増加日数と対応して、期待採種量 9.0 の範囲は拡大する。

花粉供給日数が両側で 1 または 2 日増加した場合の期待採種量の変動は Fig. 17 に示す通りである。この場合は上記の前期側に増加した場合と後期に増加した場合とが重なった形でその効果が現われ、前、後期側にそれぞれ 1 日ずつ増加した場合には種子親集団の開花が花粉親集団よりも早く開花期に達する側で 1 日、遅く達する側で 1 日ずつ、期待採種量 9.0 以上の範囲は拡大する。両側に 2 日ずつ増加した場合は、同様に各 2 日ずつ拡大し、期待採種量 9.0 以上の範囲は両親集団間の開花期の差が 2~7 日間となる。

花粉供給期の増加はより安定した種子生産に寄与し得るとみてよいであろう。

以上の検討で明らかな様に、集団間の交配では、両親集団の開花期をメルクマールとしてとり、種子親集団の開花期が花粉親集団のそれよりも 0~5 日間早い場合に 9.0 以上に対応する採種量が期待できる。また、花粉の供給期が増加すると 9.0 以上の採種量が期待できる範囲

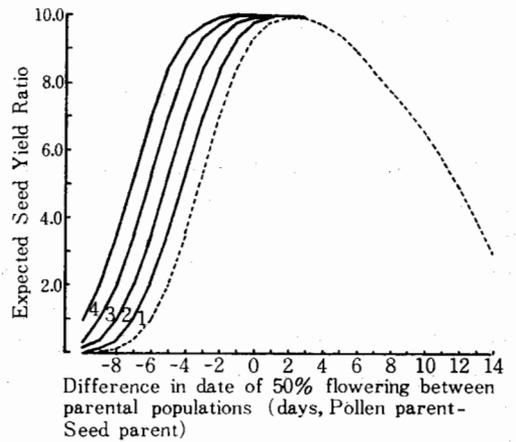


Fig. 16 Effect of elongation of pollinating duration in later half period on the expected seed yield ratio in 13-N- population

Note; Broken lines indicated the same as in fig. 15. Solid lines indicated the changes of expected seed yield ratio when 1, 2, 3 and 4 more days were added to pollinate in later half period of pollination.

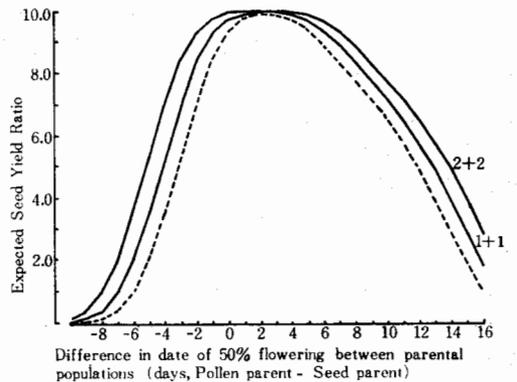


Fig. 17 Effect of elongation of pollinating duration in earlier and later periods on the expected seed yield ratio in 13-N-population.

Note; Broken line indicated the same as in fig. 15. Solid lines indicated the changes of expected seed yield ratio when 1 and 2 more days were added to pollinate in both periods of pollination.

は拡大し、より安定した種子生産ができることになる。これらの結果は前章で、集団の開花始をメルクマールと検討した結果とよく一致している。

V 論 議

本稿では雑種ソルガムを採種する場合、最大の採種量を期待するためには、何をメルクマールとして、どのようなタイミングで花粉が供給されればよいか、について検討を加えてきた。この種の検討は、単一穂間交配を対象とした場合については、ROSS⁶⁾、ROSS and WEBSTER⁷⁾、氏原ら¹⁰⁾、¹¹⁾などの実験例があるが、集団間の交配を対象とした事例はほとんど報告されていない。これは現在のソルガム育種の中心地であるアメリカにおける種子の生産事情が反映されている様である。すなわち、アメリカでは公的機関は育種材料の育成を重点的に行なっている。これらの育種材料を利用して雑種を育成し、その能力を検定し、雑種種子を生産し、これを販売する、いわば品種化、商品化の過程はその大部分が民間の種苗生産業者の手にゆだねられている。このため、雑種の育成に用いられる両親系統の特性や来歴、雑種種子の生産方法に関する情報は商品となる雑種品種の重要なノウハウになる。今日、わが国では60余の、アメリカ産の雑種ソルガム品種が販売されているが、これらの品種について入手し得る最大限の情報は、筆者らが“原系統名”とよんでいる雑種のブランドナンバー、雑種の特性の概要までで、当該雑種が、どのような来歴、特性をもつ両親系統間の交配に由来しているかについては全く知ることができない³⁾。1960年代頭頃から今日まで、非常に多くの雑種が育成・販売されているのであるから、雑種ソルガムの採種については、技術的にも、経営的にも完成の域に達しているはずである。にもかかわらず、情報が極めてとぼしいのは、品種のもつ商品としての側面が大きな障害をなしていると考えてよいであろう。

本稿では採種量を推定する手段として、開花の推移、授・受精能力の推移などを調査し、これを一連の指数で表示する方法を採用した。従来、この種の試験では穎花数、1穂重、稔実歩合、稔実スコアなどが調査項目として、とりあげられてきた^{2,6,7,10,11)}。しかし、ソルガムでは1穂当り2,500~3,000の穎花をもっているため、穎花数や稔実歩合の算定は大変複雑で、多数個体が扱えない点に悩みがある。また1穂重や1穂粒重では穂や子実の大小が関与するために、直接的な比較が出来にくい点に難点があった。この様な理由から、本稿では共通基準として穂長をとりあげ、これに対する十分比で、開花、

稔実状態を評価することとした。勿論、ソルガムの穎花は穂の全長にわたって均等に着生してはいないので、この評価法で十分であるとは言い難いが、調査の繁雑さがある程度解消しながら、一定程度の精度で、開花、稔実の状態を評価する上では有効であろうと考えている。既述の各指数のうち、受精可能花指数は直接的には穂長の十分比とはなっていない。しかし、開花始後5日目に交配した穂の稔実状態を10.0と考えると、受精可能花指数は全穂長にわたる平均的な稔実状態を示すものであり、全穂長中稔実種子を着生する部分の大きさを示す値となっており、穂長の十分比として扱ってよいであろう。諸指数が穂長の十分比で表現されたことにより、指数間の加、減が可能となり、既述の形で期待採種量の推定が可能となったものである。

ソルガム1穂の開花が完了するのに要する日数について、FREEMAN²⁾は4~9日、ROSS⁶⁾は4~5日であるとしている。また、前者は、開花は高温により促進され、低温や降雨によって遅滞されると述べている²⁾。

ソルガム単一穂の受精能力の保持期間についてはROSS⁶⁾、ROSS and WEBSTER⁷⁾、氏原ら¹⁰⁾の観察例がある。単一穎花の受精能力保持期間については、独立した実験例はないが、ROSS⁶⁾は若干の知見を報告している。

氏原ら¹⁰⁾は雄性不稔系統 Wheatland A の穂の上部1/4が開花した時に、開花部を切除して袋をかけ、以後17日間にわたって授精させた。そして、袋をかけた翌日に開花したと考えられた交配穂の上部4cmの稔実状態を調査したところ、受精能力は開花当日(すなわち袋をかけた翌日)を含む1週間は高く、その後は直線的に低下し、2週間目には受精能力を完全に失っていることが明らかとなった。

ROSS⁶⁾は開花始2~3日前に雄性不稔系統 Combine Kafir 60A および White Martin に袋をかけ、袋かけ7日後から29日後まで、2日間隔に、1次にわたって交配した。その結果、最大の稔実は袋かけ9日後交配した穂で得られ、以後、13日後までは穂長の1/2以上が稔実したが、15日後以後は急激に減少することがわかった。同時に、同氏は、頂花の受精能力は袋かけ7日後には失われていた、と報告し、受精能力の保持期間が部位により異なることを示唆する結果を得ている。

花粉の授精能力保持期間については DOGGET¹⁾、氏原ら¹¹⁾の報告がある。氏原ら¹¹⁾は授精能力は晴天日には12時まで、曇天日は16時まで保持されており、花粉を採取して、屋外に放置すると晴天日には2時間、曇天日には4時間で授精能力を失なうと報告している。

以上に述べた、単一穂の開花、授・受精能力に関する

既往の結果は、本稿で述べた結果とはほぼ一致している。

集団を対象とした採種に関する知見は山西省忻県地区種子站⁸⁾に詳しい記述がある。これによると、雑種ソルガムの採種を行なう場合は、①採種場所は他のソルガムから300~400m離して設置し、②種子親畦と花粉親畦との畦数比は12:4, 16:4, または9:3とし、③適期、浅播とする。両親間の開花のタイミングの基本は、種子親側は“寧早勿晩”、花粉親側は“寧晩勿早”であり、理想的な開花のタイミングは種子親の末花期(全部の穎花が開花した時期)と花粉親の盛花期(穂長の3/4が開花した穂が70%に達した時期)とが一致することである。このタイミングは種子親の挑旗期(70%の個体で止葉が出現する時期)が花粉親の出旗期(止葉が出現し始める時期)と一致する場合でもある。

山西省忻県地区種子站⁸⁾の結果を本稿での表示法で表示すると末花期は開花指数10.0到達日、盛花期は開花指数8.5の時期に相当する。この組合せを13-N-集団で見ると開花期到達後9日目の種子親と同4日目の花粉親とが組合された、すなわち、種子親集団の開花期が、花粉親集団のそれよりも5日早い組合せとなる。

本稿では、既往の結果に比べて、受精不能花の出現が幾分早い傾向にある。このため、開花のタイミングは幾分早い方へ、すなわち、両親の開花期の差が少ない方へズレこんでいる。この点を考慮すると、山西省忻県地区種子站⁸⁾が述べた結果と本稿で得た結果とはほぼ一致しているとみなしてよいであろう。

両親間の開花のタイミングを調節する方法としては播種期があげられている⁸⁾。晋雑5号は雄性不稔系統3197Aと三尺三との雑種であるが、3197Aに比べて三尺三は開花期が早い。このため、同期播種では3197Aが十分に授精されない。これを避けるため、種子親3197Aを、三尺三よりも7~15日早く播種するのである。具体的には種子親3197Aを4月20日前後に播種し、これが発芽し、土をもちあげる4月27日頃、花粉親三尺三の第一回目の播種を行なう。つぎに、第1回目播種の花粉親が発芽し土をもちあげる5月5日頃、花粉親の第2回目の播種を行なう。合計3回に分けて播種されるのである。花粉親を2回にわけて播種するのは、勿論、開花のタイミングをはずさないことに主たる狙いがあるが、同時に、この処置によって、花粉の供給日数も当然延長され、Fig. 15~17に示す様な効果も同時に生じているようである。

開花のタイミングを予測する方法としては、①葉片観察法、②幼穂観察法、③節間伸長観察法、④有効積温計算法があげられている⁸⁾。①~③は主稈葉数、幼穂、伸長節間を観察して、両親品種の生育ステージを把握し、

開花期の予測を行なう方法である。④は10℃以上の気温の積算値から開花期を予測する方法である。

以上のほか、採種に直接関係する技術として人工補助授粉がある⁸⁾。これは種子親上で、花粉親をゆり動かし花粉を飛散させ、稔実の向上をはかるもので、午前7時から11時の間に、開花期間中7~10回行なうがよい、とされている。

本稿では雑種ソルガムの採種について、両親の開花のタイミングの面に限って検討したが、これが実際に、農家の圃場で実施されるためには、耕種法の確立をはじめ、鳥害や穂発芽の回避、防止法など各種の障害に対する対策、収穫、調整の機械化の問題など、解決されなくてはならない多くの課題がある。多岐にわたる、精力的な研究が必要であろう。

VI 摘 要

細胞質雄性不稔系統390Aおよび兼用型ソルガム品種 Regs. Hegari を用いて、単一穂における開花の推移、授・受精能力の推移を調査したところ、つぎの点が明らかとなった。

1. 単一穂における開花指数は開花始以後直線的に増加し、3日目に全穂の1/2以上が、4日目には3/4以上が、5日目には穂基部まで開花した (Fig. 1)。
2. 単一穂における受精可能花は開花始後5日目が最も多く、以後4日間は高い値を維持した (Fig. 2)。
3. 単一穂における花粉の授精能力は開花当日の10時頃までは高いが以後は急激に減少して、14時には能力を失った (Fig. 4)。また単一穂における授精可能花指数は開花始約2日目から4日目の間が高かった。
4. 単一穂間交配では、種子親穂の開花始が花粉親穂のそれよりも1~6日間早い場合に高い採種量が期待された。

次に、上記の結果を類型化し、52個体より成る小集団に適用し、各指数の集団としての平均値の推移を調査したところ次の諸点が明らかとなった。

5. 小集団における開花指数、授精可能花指数の実測値と推定値とはよく一致した (Table 4, Fig. 6, 8)。
6. 小集団における開花指数は集団における開花始日からの日数の経過に伴い、シグモイド曲線に沿って増加した (Table 4, Fig. 6)。
7. 小集団における受精可能花指数は開花始後9日目を最大とし、8日目までは急増し、10日目以後はゆるやかに減少する山型曲線に沿って推移した (Fig. 7)。
8. 受精不能花指数は開花始後13日目まではゆるやかに

に、以後は急増した (Fig. 7)。

9. 授精可能花指数は開花始約6日目を最大とする左右対称な山型曲線に沿って推移し、3日目から9日目の間で0.5以上の値をもった (Fig. 8)。

10. 小集団間の交配では、種子親集団の開花始が花粉親集団における開花始よりも0~5日間早い場合に高い採種量が期待できた (Fig. 9)。

さらに、単一穂における結果を任意の仮想集団に適用し、各指数の推移を検討したところ、次の諸点が明らかとなった。

11. 開花始個体数の日別分布が前半期あるいは後半期に偏る集団および正規分布をする集団では、各集団とも、一定のズレをもちながらほぼ同一の経過をたどった (Fig. 11, 13)。

12. 上記の集団における各指数は、各集団における開花期のズレと平行して推移した (Fig. 12, 14)。

13. 全個体が開花始に達するのに4~15日間を要する12種の集団では、開花期を基準日にとると、開花指数9.0到達日は開花期後5日目に、受精不能花指数1.0到達日は開花期後5~6日目に、授精不能花指数0.5到達日は開花期当日または前日で、集団間に差を認めなかった (Table 5)。

14. 任意の集団間の交配では種子親集団の開花期が花粉親集団の開花期よりも0~5日間早い場合に、最大の採種量が期待された (Table 6, 7)。

15. 花粉の供給期間が増加すると期待採種量は長期にわたり安定して、高い値を維持した (Fig. 15~17)。

Ⅷ 引用文献

- 1) Doggett, H: 1970, Sorghum, Longmans, New York, U. S. A.
- 2) Freeman, J.E.: 1970, Development and structure of the sorghum plants and its fruits., Sorghum production and utilization, 28—72, AVI pub. Co. Westport, Connecticut, U. S. A.
- 3) 最上邦章: 1980, 青刈ソルガムの育種と品種の特性. 日草誌近中支報 9 (1): 1—7.
- 4) 望月 昇: 1987, ソルガムの品種解説. 草その情報 14: 23—28.
- 5) Quinby, J.R.: 1974, Sorghum improvement and the genetics of growth., Texas A & M Univ. Press, U. S. A.
- 6) Ross, W.M.: 1957, Stigma receptivity in cytoplasmic malesterile sorghum. Agron. J. 49; 219—220.
- 7) Ross, W.M. and O.J. Webster: 1959, Additional notes on stigma receptivity in male sterile sorghum. Agron. J. 51; 632.
- 8) 山西省忻県地区種子站編: 1977, 高粱育種和良種繁育 農業出版社, 北京, 中華人民共和国.
- 9) Stephens, J.C. and R.F. Holland: 1954, Cytoplasmic malesterility for hybrid sorghum seed production. Agron. J. 46; 20—23.
- 10) 氏原和人・星野次汪・四方俊一: 1978, グレインソルガムの雌性不稔系統 A-line の受精能力, 育雑 28 (別1): 20—21.
- 11) ————・———・小野信一: 1979, グレインソルガムの交配法の比較, 育雑 29 (別1): 204—205.

Desirable Timing of Pollen Supplies in Hybrid Seed Production of Sorghum

Kuniaki MOGAMI, Yoshiaki DOI, Yutaka FURUDOI and Takao TSUCHIYA

Summary

Investigating on the process of flowering, receptivity and pollinating ability of malesterile and restorer variety, the authors estimated the desirable timing of pollen supplies to get satisfied seed yield in hybrid seed production of sorghum.

It was concluded that desirable timing of pollen supplies was prepared when the panicle of seed parent began flowering 1 to 6 days earlier than that of pollen parent in the inter-plant hybridization. In the inter-population hybridization, it was desirably prepared that 50 percent of plant in seed parent population reached first flowering 0 to 5 days earlier than in pollen parent population.